





## Method for operating a four-stroke internal combustion engine

**Patent number:** DE19852552  
**Publication date:** 2000-05-25  
**Inventor:** NIEBERDING ROLF GUENTHER (DE)  
**Applicant:** DAIMLER CHRYSLER AG (DE)  
**Classification:**  
**- International:** *F02B75/02; F02D13/02; F02D41/30; F02D41/40; F02B1/12; F02D9/04; F02M25/07; F02B75/02; F02D13/02; F02D41/30; F02D41/40; F02B1/00; F02D9/00; F02M25/07; (IPC1-7): F02B11/02; F02B47/08; F02D13/02*  
**- european:** F02B75/02; F02D13/02; F02D41/30C2D; F02D41/40D  
**Application number:** DE19981052552 19981113  
**Priority number(s):** DE19981052552 19981113

### Also published as:

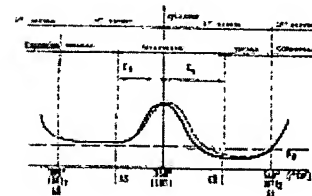
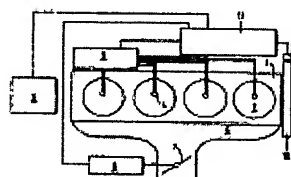
 EP1001148 (A2)  
 US6192858 (B1)  
 EP1001148 (A3)  
 EP1001148 (B1)

Report a data error here

Abstract not available for DE19852552

Abstract of corresponding document: **US6192858**

A method for operating a four-stroke internal combustion engine which allows the combustion-chamber pressure to be equalized in a cylinder-selective manner consistent with the cycle, in which the quantity of exhaust gas retained with valve closure overlap selected is controlled or preset as a function of the engine speed and load by an exhaust throttle valve affecting all the combustion chambers, and the pressure in the individual combustion chambers when the inlet members are opened is equalized by corresponding cylinder-selective activating injection in a manner consistent with the cycle.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



⑬ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 198 52 552 C 2**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 02 B 11/02**  
F 02 D 13/02  
F 02 B 47/08

⑲ Aktenzeichen: 198 52 552.4-13  
⑳ Anmeldetag: 13. 11. 1998  
㉑ Offenlegungstag: 25. 5. 2000  
㉒ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 5. 10. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ **Patentinhaber:**  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦② **Erfinder:**  
Nieberding, Rolf Günther, Dipl.-Ing., 70182  
Stuttgart, DE

⑤⑥ **Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:**

DE 198 10 935 A1  
US 47 00 684  
EP 03 20 536 A1

⑤④ **Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors**

⑤⑦ **Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden  
Verbrennungsmotors umfaßt folgende Merkmale:**  
- in mindestens einen Brennraum, dessen Volumen sich  
zyklisch ändert, wird Kraftstoff direkt eingespritzt,  
- Frischgas wird durch mindestens ein Einlaßorgan und  
Verbrennungsabgas durch mindestens ein Auslaßorgan  
zu- bzw. abgeführt,  
- bei Teillast wird ein mageres Grundgemisch aus Luft,  
Kraftstoff und rückgehaltenem Abgas gebildet und ein  
stöchiometrisches Gemisch bei Vollast,  
- bei Teillast erfolgt eine Kompressionszündung und bei  
Vollast eine Funkenzündung,  
- und mit mechanisch gesteuerter Abgasrückhaltung mit  
schaltbarer Ventilunterschneidung und Abgasdrosse-  
lung,  
sowie mit einer Aktivierungseinspritzung in das rückge-  
haltene Abgas.  
Damit der Brennraumdruck am Ende der Abgaskompres-  
sion zylinderselektiv und zykluskonsistent gleichgestellt  
werden kann, wird  
- die Menge des zurückgehaltenen Abgases bei einge-  
schalteter Ventilunterschneidung abhängig von Motor-  
drehzahl und -last durch eine für alle Brennräume wirksa-  
me Abgasdrosselklappe gesteuert bzw. voreingestellt,  
- und der Druck beim Öffnen der Einlaßorgane in den ein-  
zelnen Brennräumen durch entsprechende zylinderselek-  
tive und zylinderskonsistente Aktivierungseinspritzung  
gleichgestellt.

**DE 198 52 552 C 2**

**DE 198 52 552 C 2**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors, insbesondere nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Als Verbrennungsmotor wird eine Maschine verstanden, die in einer Anzahl von veränderlichen Volumina Gemische aus Luft und Kraftstoff verbrennt und die freigesetzte Energie über den in den Volumina entstehenden Gasdruck in mechanische Energie umsetzt. Die Gemische werden innerhalb eines Brennraumes gebildet.

Die Verbrennung wird zumindest im Leerlauf und/oder bei Teillast durch Kompressionszündung eingeleitet. Diese bietet bei mageren Gemischen ein gutes Potential, Luft/Kraftstoff-Gemische bei gutem Wirkungsgrad und geringer Stickoxidbildung zu verbrennen. Diese Verbrennung kann bei motorisch üblichen Verdichtungen nur mit Abgasrückhaltung und Abgasaktivierung betrieben werden. Dabei bedeutet Abgasaktivierung eine Aktivierungseinspritzung von Kraftstoff in heißes, komprimiertes Abgas. Eine solche Verbrennung kann nur in einem schmalen Kennfeldbereich stabil verwirklicht werden. Eine stabile Verbrennung erfordert jedoch insbesondere bei instationärer Betriebsweise eine schnelle Regelung. Dazu sind mechanische Steuerungssysteme wie Klappen oder Ventile zu langsam und für eine zylinderselektive Ausbildung zu aufwendig.

Die Kompressionszündung erfolgt über eine Temperaturerhöhung des Luft/Kraftstoff-Gemisches. Die Temperaturerhöhung des Frischgemisches wird durch Mischen mit den Abgasanteilen des vorhergehenden Zyklus und durch die sich anschließende geometrische Kompression des abgeschlossenen, maximalen Ausgangsvolumens auf ein verbleibendes Restvolumen bewirkt. In dem verbleibenden komprimierten Volumen stellt sich eine Temperatur ein, die das Gemisch zur Entzündung bringt. Der Verbrennungsprozeß, der sich an die Kompressionszündung magerer Gemische anschließt, ist aufgrund der freigesetzten Energie ein selbst-erhaltender bzw. selbstverstärkender Prozeß. Die Einleitung und Regelung dieser Verbrennung kann durch variable Verdichtung mittels variierbarem Einlaßschluß oder über variierbare Abgasrückhaltung mit Aktivierungseinspritzung erfolgen. Eine kloppfreie Laststeigerung kann über Verdampfungskühlung durch spät eingespritzten Kraftstoff verwirklicht werden.

Die Verbrennung des homogenen Luft/Kraftstoff-Gemisches ist abhängig vom Anteil der Brennraummasse an zurückgehaltenem Abgas mit dem Luftüberschuß aus dem vorangegangenen Zyklus und der zugeführten kalten Frischluft sowie dem direkt in den Brennraum eingebrachten Kraftstoff. Die jeweilige Zusammensetzung des Gemisches beeinflusst den Beginn und damit den Verlauf der Energiefreisetzung. Der hohe Anteil rückgehaltenen Abgases beeinflusst den nachfolgenden Zyklus. Eine Vorsteuerung der Verbrennung ist durch die gezielte Einspritzung im Rahmen der Aktivierung möglich.

Dazu wird Kraftstoff in das im Brennraum rückgehaltene Abgas eingespritzt, wodurch mittels Abgaswärme und heißer Restluft eine vorwiegend endotherme Vorreaktion des zugeführten Kraftstoffs herbeigeführt wird, die die nachfolgend komprimierte, vollständige Ladung bei der Einleitung der exothermen Reaktion beeinflusst.

In der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung 198 18 596.0 ist ein gattungsgemäßer Verbrennungsmotor beschrieben, in dem das für die motorische Realisation der Kompressionszündung angestrebte mechanische Konzept dargestellt ist. Die notwendige Abgasrückhaltung wird durch eine mechanische Vorsteuerung mittels einer binär umschaltbaren Nockenwelle verwirklicht, deren umgeschal-

tete Nockenform zu verkürzten Ventilsteuerzeiten (Ventilunterschneidung) und damit zur Kompression des rückgehaltenen Abgases führt. Die Menge des Abgases wird über eine Abgasdrosselklappe nach den Auslaßorganen gesteuert. Diese regelt über den Staudruck und die daraus resultierende Druckdifferenz zum Brennraum die darin rückgehaltene Abgasmenge.

Weiterhin sind eine Aktivierungseinspritzung in das rückgehaltene Abgas und eine Funkenzündung homogener, stöchiometrischer Gemische für den Vollastbetrieb vorgesehen.

Die Abgasrückhaltung durch Abgasstau hinter dem Brennraum ist jedoch gasdynamischen Trägheiten unterworfen und kann nicht zylinderselektiv vorgesteuert werden. Eine zyklische Kompensation vorheriger Einflüsse oder eine Vorsteuerung für gezielte schnelle, dynamische Änderungen von Last und Drehzahl ist nachmotorisch nur schwer steuerbar und aufgrund von Totzeiten und Hysteresen regelungsaufwendig.

Eine zylinderselektive Bestückung der einzelnen Abgasstränge mit Einzelklappen ist im Lastbetrieb thermisch problematisch und konstruktiv aufwendig. Außerdem weisen bei einem Mehrzylindermotor die innenliegenden Zylinder einen geringeren Wärmeverlust und damit höhere Gastemperaturen auf, die zu unterschiedlichen Mengen und Dichten des zurückgehaltenen Abgases in den einzelnen Brennräumen führen. Dadurch verläuft die Verbrennung in den innenliegenden Zylindern anders als in den außenliegenden, was den motorischen Gleichlauf und den instationären Betrieb nachhaltig beeinträchtigt.

Die ältere, aber nicht vorveröffentlichte Offenlegungsschrift DE 198 10 935 A1 beschreibt eine Aktivierungsphase des rückgehaltenen Abgases. Je nach Motorlast erfolgt die Aktivierungseinspritzung zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Kompression desselben. Die Aktivierung zielt jedoch auf eine Verbesserung der Hauptverbrennung und nicht auf eine Gleichstellung der einzelnen Zylinder bezüglich Menge und Dichte des rückgehaltenen Abgases.

Die Rückhaltung eines bestimmten Anteils des Abgases zur Steuerung der Frischluftmenge ist auch durch die Patentschrift US 4,724,809 bekannt. Die dazu vorgeschlagene, in Hub und Steuerzeit kontinuierlich verstellbaren Ein- und Auslaßventile sind aber aufwendig.

Der Einsatz einer Drosselklappe ist aus der Offenlegungsschrift EP 320 536 A1 bekannt. Diese Drosselklappe dient jedoch als Motorbremse und wird ausschließlich ohne Kraftstoffeinspritzung eingesetzt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für einen gattungsgemäßen, mehrzylindrigen Verbrennungsmotor ein Verfahren anzugeben, mit dem der Brennraumdruck am Ende der Abgaskompression zylinderselektiv und zyklus-konsistent gleichgestellt werden kann.

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Die Abgasrückhaltung wird in Abhängigkeit von Drehzahl und Last des Verbrennungsmotors durch nur eine Abgasdrosselklappe in der Abgasleitung gesteuert. Für niedrige Lasten und Drehzahlen ist diese maximal geschlossen, so daß der größtmögliche Abgasanteil in den Brennräumen zurückgehalten wird. Bei ansteigender Drehzahl gibt die Abgasdrosselklappe mehr Querschnitt frei und ermöglicht so einen höheren Massendurchsatz. Bei ansteigender Last erhöht sich die Abgastemperatur, so daß zur Reaktionseinleitung weniger Abgasrückhaltung und somit weniger Abgasdrosselung erforderlich sind. Die Abgasdrosselklappe wird demnach zur Vorsteuerung des Betriebspunktes eingesetzt und ist eingeschränkt instationär steuerbar.

Durch geschickte Variation der Aktivierungseinspritzung kann der Druck im Brennraum beim Öffnen des Einlaßor-

gans beeinflusst werden. Die Aktivierungseinspritzung wird je nach Einspritzzeitpunkt in eine frühe und in eine späte Einspritzung unterteilt. Bei der frühen Aktivierungseinspritzung setzt die Reaktionstätigkeit während der Aktivierungsphase Energie frei. Der Brennraumdruck steigt gegenüber einer Abgasrückhaltung ohne Aktivierung an. Dadurch stellt sich beim Öffnen der Einlaßorgane ein geringerer Unterdruck gegenüber der Umgebung ein, wodurch die Füllung der Brennräume abnimmt.

Die späte Einspritzung verändert den Druckverlauf während der Abgasexpansion nur aufgrund der Abkühlung durch die Kraftstoffverdampfung, da chemische Reaktionen wegen des raschen Druckabfalls im sich schnell vergrößernden Brennraum verzögert werden. Demgegenüber erhöht die frühe Einspritzung den Druck im Brennraum wegen der Energiefreisetzung im Abgas auch während der Expansionsphase des rückgehaltenen Abgases. Ist dies nicht gewollt, kann das Abgas im Brennraum durch das Verdampfen von zusätzlich später eingespritztem Kraftstoff abgekühlt werden. Die höhere Dichte bzw. der geringere Druck der abgekühlten Masse läßt eine höhere Füllung zu. Daher eignet sich die Aktivierungseinspritzung für eine gezielte Änderung des im Brennraum beim Öffnen des Einlaßorgans herrschenden Drucks. Somit kann die Druckdifferenz zum umgedrosselten Umgebungsdruck für das Ansaugen des Frischgases durch Kraftstoffeinspritzung schnell und zykluskonsistent sowie zylinderselektiv beeinflusst werden. Im einzelnen gilt: Je früher Kraftstoff in das rückgehaltene Abgas eingespritzt wird, desto höher ist der Druck im rückgehaltenen Abgas und umso weniger Frischluft kann angesaugt werden. Die maximale Rückhaltung ergibt sich bei einer Einspritzung direkt nach Schließen des Auslaßorgans. Dabei zeigt sich auch die stärkste Auswirkung auf den nächsten Verbrennungszyklus hinsichtlich einer frühen Energiefreisetzung.

Eine Steigerung der angesaugten Frischladung zur Steigerung der gesamten Brennraummasse und zur Maximierung der effektiven Kompression wird durch eine Aktivierungseinspritzung kurz vor dem Öffnen des Einlaßorgans erreicht. Das rückgehaltene Abgas wird dadurch gekühlt, wodurch der Brennraumdruck sinkt. Es steigen die angesaugte Frischluftmenge und der Liefergrad. Die Auswirkung einer späten Aktivierungseinspritzung auf den Reaktionseinsatz des nächsten Arbeitszyklusses ist minimal.

Wird ein Teil des Kraftstoffs zu Beginn der Aktivierungsphase nach Schließen des Auslaßorgans in das rückgehaltene Abgas eingespritzt und ein zweiter Teil kurz vor dem Öffnen des Einlaßorgans, so nimmt die Verdampfungswärme des zweiten Teils die freigesetzte Energie des ersten Teils weitgehend auf. Dadurch werden der Brennraumdruck gesenkt und die angesaugte Frischluftmenge erhöht. Aufgrund des frühen Aktivierungsbeginns ist in den Brennräumen auch nach der partiellen Abkühlung der Ladung noch genügend aktiviertes Gemisch in Gestalt von reaktionsfreudigen Radikalen vorhanden. So bietet die geteilte Aktivierungseinspritzung bei insgesamt gleicher eingespritzter Kraftstoffmenge die Kombination der Vorteile einer Aktivierung des rückgehaltenen Abgases und dessen Liefergrad erhöhende Druckabsenkung. Beide Wirkungen sind weitgehend entkoppelt.

Mit zunehmender Motorleistung steigen die Gastemperatur und mit ihr die Stickoxidbildung stark an. Zugleich nimmt mit steigender Abgastemperatur die Abgasdichte ab. Durch die Abgasrückhaltung wird die mittlere Abgastemperatur vor Kompressionsbeginn erhöht und dadurch die Zylinderladung reduziert. Mit sinkender Zylinderladung wird bei gleicher Kraftstoffmenge (d. h. gleicher Last) der Luftüberschuß reduziert. Das Gemisch wird im Mittel kraftstoff-

reicher. Die Reaktionsintensität nimmt zu, die Druckanstiege werden steiler und die Spitzentemperaturen höher. Zur Steigerung der maximalen Last bei gleichzeitiger Vermeidung von Stickoxiden wird eine Reduktion der mittleren Gastemperatur vor Kompressionsbeginn durch Maximierung des Frischluftanteils angestrebt.

Durch eine extrem späte oder geeignet aufgeteilte Aktivierungseinspritzung kann der Abgasbedarf auch bei höherer Last und Drehzahl minimiert werden. Die rückgehaltene Abgasmasse wird abgekühlt. Aufgrund der reaktionskinetischen Aktivierung wird eine geringe Abgasmasse benötigt. Mit kälterer Frischluft steigt der Liefergrad an, sinkt die mittlere Gemischtemperatur und reduziert sich die Stickoxidbildung. Die Kraftstoffmenge der Aktivierung ist ein Teil der gesamten Kraftstoffmenge, die zur Einstellung des optimalen Zeitpunktes der Energiefreisetzung dient.

Die erfindungsgemäße Aktivierungseinspritzung bietet die Möglichkeit, aufgrund ihrer Regelgeschwindigkeit eine zykluskonsistente und zylinderselektive Feineinstellung des Brennraumdruckes vor dem Öffnen des Einlaßorgans und damit eine Gleichstellung der einzelnen Brennräume bezüglich Liefergrad und Verbrennung zu erreichen. Diese geschieht ohne mechanischen Stelleingriff in Ventilsteuerzeiten und Stellung der Abgasdrosselklappe.

Die Ventilunterschneidung ist jedoch Voraussetzung für eine Abgasrückhaltung, und mit der Abgasdrosselklappe wird die rückgehaltene Abgasmenge über die Druckdifferenz zu den Brennräumen dem mit der Drehzahl veränderten Zeitquerschnitt angepaßt. Die Abgasdrosselklappe kann jedoch nicht die Unterschiede der Füllung der einzelnen Brennräume ausgleichen. Dies geschieht, wie oben dargelegt, über die Strategie der Aktivierungseinspritzung mit ihrer zylinderselektiven Feineinstellung von Füllung und Reaktivität.

Die Regelung der Verbrennung mit Kompressionszündung magerer Gemische aus Luft, Kraftstoff und rückgehaltenem Abgas ist mit mehreren kaskadisch angeordneten Regelkreisen möglich. Einmal wird das binäre Schalten einer für die Abgasrückhaltung erforderlichen Ventilunterschneidung geregelt. Dies wird durch eine Nockenform bewirkt, die im Vergleich zur Nockenform für Hochlastbetrieb einen wesentlich kleineren Öffnungswinkel aufweist.

Der zweite Regelkreis steuert die Abgasdrosselklappe, durch die die Menge des rückgehaltenen Abgases für den Ladungswechsel des gesamten Mehrzylindermotors in Abhängigkeit von dessen Drehzahl und Last bestimmt wird. Bei niedrigen Lasten und Drehzahlen ist die Drosselklappe weitgehend geschlossen, mit steigender Last und Drehzahl wird sie sukzessive geöffnet. Sie wird somit zur Vorsteuerung des Betriebspunktes eingesetzt und ist eingeschränkt auch instationär steuerbar.

Ein dritter Regelkreis betrifft die Aktivierungseinspritzung. Aufgrund der Auswirkung der Aktivierungseinspritzung auf die Abgasrückhaltung kann eine brennraumspezifische Abstimmung elektronisch gesteuert verwirklicht werden. Diese kann über Kennfeld und Ionenstrom gemessene Brennraumtemperaturen basisappliziert werden. Durch die Zusammensetzung der Ladung aus rückgehaltenem Abgas mit Restluft, aus Frischluft und Kraftstoff und durch die Energiefreisetzung kann die Verbrennung dynamisch beeinflusst werden. Für den instationär betriebenen Verbrennungsmotor wird bei Laststeigerung die Ladungsmenge in den Brennräumen maximiert, um den Übergang von der Kompressionszündung magerer Gemische bei Teillast zur Funkenzündung stöchiometrischer, homogener Gemische bei Vollast zu optimieren.

Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen und der folgenden Beschreibung. Ausfüh-

rungsbeispiele der Erfindung sind anhand der nachfolgenden Beschreibung sowie der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schema eines Verbrennungsmotors mit vier Brennräumen und Abgasrückhaltung,

Fig. 2 ein Diagramm des Brennraumdrucks während des Gaswechsels.

Fig. 1 zeigt einen im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotor mit einem Zylinderblock 1, in dem vier Brennräume 2 angeordnet sind. Der Gaswechsel geschieht durch nicht dargestellte Einlaß- und Auslaßorgane, die durch eine nicht dargestellte Nockenwelle angetrieben werden. Diese ist mittels eines Umschalters 3 zwischen der Nockenform für Ventilüberschneidung (ottomotorischer Betrieb) und der Nockenform für Abgasrückhaltung (Kompressionszündungsbetrieb) umschaltbar.

Der Kraftstoff (im Regelfall Benzin) wird durch Einspritzventile 4, die von einem Einspritzgerät 5 betätigt werden, mit hohem Druck in die Brennräume 2 eingespritzt. Das Abgas wird in einer Abgasleitung 6 gesammelt, in dem eine für alle Brennräume wirksame Abgasdrosselklappe 7 angeordnet ist. Diese wird von einem Klappensteller 8 betätigt.

Ein Drehzahlmesser 9 greift die Drehungleichförmigkeit des Verbrennungsmotors am Umfang eines Schwungrades 10 ab. Ein Rechner 11 steuert unter Auswertung der Drehzahlschwankungen des Schwungrades 10 und von Meßwerten eventuell vorhandener Ionenstromsonden in den Brennräumen 2 das Einspritzgerät 5, den Umschalter 3 und den Klappensteller 8.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird anhand von Fig. 2 erläutert:

Die Kurve des Druckverlaufs in den Brennräumen 2 beginnt im dritten Takt mit der Endphase der Expansion nach einer Verbrennung mit Luftüberschuß. Im ersten unteren Totpunkt (UT)<sub>1</sub> bei Kurbelwinkel KW = 180° ist der Öffnungspunkt des Auslaßorgans, mit dem der vierte Takt und das Ausschleiben der Abgase beginnen. Die Kurve verläuft während des Ausschleibens oberhalb der Linie  $p_u$  des Umgebungsdrucks, wobei der Abstand zwischen der Kurve und der Linie  $p_u$  während des Ausschleibens von der Stellung der Abgasdrosselklappe 7 und der Motordrehzahl abhängt.

Beim Schließpunkt AS des Auslaßorgans endet die Ausschleibephase, und es beginnt die Aktivierungsphase. Diese endet mit dem Öffnungspunkt EÖ des Einlaßorgans. Zwischen Schließpunkt AS und Öffnungspunkt EÖ findet die Kompression und Aktivierung des rückgehaltenen Abgases statt. Die Aktivierung besteht in einer Aktivierungseinspritzung von Kraftstoff in das Abgas. Diese kann entweder nur im Anfangsbereich  $E_f$  oder nur im Endbereich  $E_e$  oder in beiden Bereichen des Kompressionsvorganges stattfinden. Die durchgezogene Kurve 11 stellt den Fall der nur späten Aktivierungseinspritzung dar, während deren gestrichelter Teil den Verlauf bei einer frühen Aktivierungseinspritzung zeigt. Die frühe Aktivierungseinspritzung bewirkt aufgrund der Abkühlung des rückgehaltenen Abgases eine Absenkung des Kompressionsdrucks, die nach Einsetzen der exothermen Reaktion im Bereich des Ladungswechseltotpunktes LOT zu einer Drucksteigerung gegenüber dem Kompressionsdruck führt. Eine zusätzliche späte Aktivierungseinspritzung führte durch die Verdampfungswärme des Kraftstoffs zu einer Druckangleichung während der Expansion an die reine Kompressionskurve im Bereich des Öffnungspunktes EÖ des Einlaßorgans. Beide Kurven liegen im Öffnungspunkt EÖ unterhalb der Linie  $p_u$  des Umgebungsdrucks, wodurch ein Einstromen des rückgehaltenen Abgases in den Einlaßbereich vermieden wird. Die Höhe des Unterdrucks im Öffnungspunkt EÖ bestimmt den Liefergrad

des Verbrennungsmotors. Bei früher Aktivierungseinspritzung ist der Unterdruck am Öffnungspunkt EÖ am geringsten und die Temperatur sowie die kinetische Aktivität des rückgehaltenen Abgases am höchsten. Das bedeutet höchste Aktivierungsenergie und zugleich geringsten Liefergrad, ein Zustand, der für den niedrigen Leerlauf optimal ist.

Eine zusätzliche späte Aktivierungseinspritzung senkt den Brennraumdruck am Öffnungspunkt EÖ ab, wodurch der Liefergrad steigt. Zugleich vermindert sich der thermische Anteil der Aktivierungsenergie, während deren reaktiver, chemischer Anteil (Radikalbildung) erhalten bleibt. Dieser Zustand eignet sich besonders für den höheren Teillastbereich.

Nach dem Öffnungspunkt EÖ des Einlaßorgans beginnt die Ansaugphase, die bis zu dessen Schließpunkt ES im zweiten unteren Totpunkt (UT)<sub>2</sub> bei einem Kurbelwinkel von 540° KW reicht und dort in die Kompressionsphase übergeht. Dabei geschieht die Reaktionseinleitung durch homogene, thermische oder chemische Energiezufuhr.

Bei extrem später Aktivierungseinspritzung wird ein hoher Liefergrad mit geringer Aktivierungsenergie erreicht, ein Zustand, wie er für den Übergang zur Funkenzündung erwünscht ist.

Bei Vollast wird die Nockenwelle auf Ventilüberschneidung geschaltet, die Abgasdrosselklappe vollständig geöffnet und der Kraftstoff in die Ansaugphase eingespritzt. Dadurch wird ein maximaler Liefergrad erreicht. Anstelle der Aktivierung tritt jetzt die Funkenzündung.

Die Abgasdrosselklappe, die schaltbare Nockenwelle, die Aktivierungseinspritzung und die ottomotorische Einspritzung werden durch kaskadisch angeordnete Regelkreise gesteuert. Während die Abgasdrosselklappe einen für alle Brennräume gleichen und nur bedingt instationären Abgasstau bewirkt, gestattet die erfindungsgemäße Ausbildung der Aktivierungseinspritzung eine zylinderselektive und zykluskonsistente Regelung des Liefergrads und der Aktivierungsenergie jedes einzelnen Brennraums und damit einen gleichmäßigen Lauf des Verbrennungsmotors.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors mit folgenden Merkmalen:

- in mindestens einen Brennraum (2), dessen Volumen sich zyklisch ändert, wird Kraftstoff direkt eingespritzt,
- Frischgas wird durch mindestens ein Einlaßorgan und Verbrennungsabgas durch mindestens ein Auslaßorgan zu- bzw. abgeführt,
- bei Teillast wird ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und rückgehaltenem Abgas gebildet und ein stöchiometrisches Gemisch bei Vollast,
- bei Teillast erfolgt eine Kompressionszündung und bei Vollast eine Funkenzündung,
- und mit mechanisch gesteuerter Abgasrückhaltung mit schaltbarer Ventilüberschneidung und Abgasdrosselung,
- sowie mit einer Aktivierungseinspritzung in das rückgehaltene Abgas,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Menge des rückgehaltenen Abgases bei eingeschalteter Ventilüberschneidung abhängig von Motordrehzahl und -last durch eine für alle Brennräume (2) wirksame Abgasdrosselklappe (7) gesteuert wird,
- und der Druck beim Öffnen der Einlaßorgane in den einzelnen Brennräumen (2) durch entspre-

- chende zylinderselektive und zykluskonsistente Aktivierungseinspritzung gleichgestellt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderselektive Aktivierungseinspritzung bezüglich Einspritzmenge, Einspritzzeitpunkt und Einspritzhäufigkeit variierbar ist. 5
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zylinderselektive Aktivierungseinspritzung im Bereich des Endes und/oder des Anfangs der Kompression des rückgehaltenen Abgases erfolgt. 10
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei höherer Last und insbesondere beim Übergang von Kompressionszündung zu Fremdzündung der Liefergrad durch geringe Abgasdrosselung und späte Aktivierungseinspritzung maximiert wird. 15
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die Aktivierungseinspritzung, die Schalnockenwelle und die Abgasdrosselklappe (7) von einem elektronischen Steuergerät (11) in Verbindung mit Kennfeldern der Motordaten unter Berücksichtigung von Motortemperaturen und den Drehzahlschwankungen des Verbrennungsmotors gesteuert werden. 20
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelung der Stellung der Nockenwelle und der Abgasdrosselklappe (7) sowie für die Aktivierungseinspritzung und den ottomotorischen Betrieb durch mehrere, kaskadisch wirksame Regelkreise erfolgt. 25

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

30

35

40

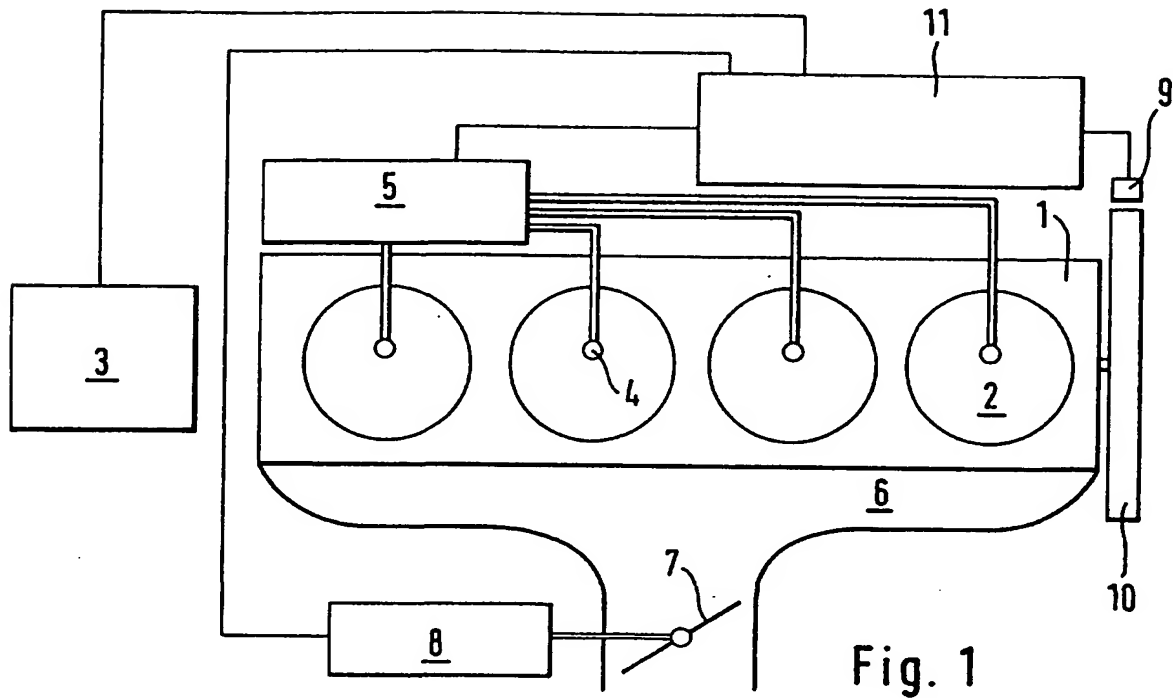
45

50

55

60

65



**Fig. 2**

